

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

აკაკი ქანთარია

ჰიდროელექტროსადგურებზე ელექტროენერგიის გამომუშავების
გაზრდა ჰიდროაგრეგატების ოპტიმალური რემონტაშორის
ვადების განსაზღვრის გზით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფრატი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის,
თბო და ჰიდროენერგეტიკის დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი იური ლომიძე

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, პროფესორი

გ. ხელიძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. საქართველოს ენერგოსისტემის ჰესების უმრავლესობა ექსპლუატაციაშია სამ ათეულ წელზე მეტი, ბევრ მათგანზე არსებული ენერგეტიკული მოწყობილობა-დანადგარების მახასიათებლები აღარ შეესაბამება მათ თავდაპირველ მნიშვნელობებს. ჰიდროტურბინების მუშა თვლების ან მიმმართველი აპარატის ნიჩბების ცვეთის გამო მცირდება მისი მ.ქ.კ. , რასაც სიმძლავრისა და შესაბამისად გამომუშავების კლება მოჰყვება, რომლის კომპენსირებასაც წყლის ხარჯის მომატებით ახორციელებენ. ჰიდრობლოკების ენერგეტიკული მახასიათებლების და წყლის ხარჯვის უკონტროლობას მიყვავართ ჰიდრორესურსების უყაირათო მოხმარებამდე, რაც იწვევს შრომისა და კაპიტალდაბანდების დანაკარგებს - შესაბამისად, იზრდება ელექტროენერგიის თვითღირებულება. ამასთან, ჰიდროაგრეგატის შერჩევისას, როგორც წესი, მხედველობაში არ მიიღება ჰესის ექსპლუატაციის პერიოდში ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ.-ზე ტურბინის ცვეთის გავლენა.

ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის შესწავლის მნიშვნელობას კიდევ უფრო აძლიერებს ის გარემოება, რომ აბრაზიული ცვეთის პროცესი შეიძლება გახდეს კავიტაციური მოვლენების განვითარების მაპროვოცირებელი ფაქტორი, რაც თავის მხრივ უფრო ინტენსიურს გახდის დეტალების ცვეთას და შეიძლება მათი მასალის რღვევაც გამოიწვიოს.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველოს ჰიდროელექტროსადგურების აბსოლუტური უმრავლესობა განლაგებულია მდინარეების სამთო და მთისწირა უბნებზე და იმასაც, რომ მდინარეები ამ უბნებზე წყალში ნატანის მაღალი შემცველობით ხასიათდება, მაშინ ცხადია, რომ აქტუალურია ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის

საკითხის შესწავლა, რომელიც პირდაპირ კავშირშია საქართველოს ენერგოსისტემის ჰესების ეფექტურ ფუნქციონერებასთან.

დისერტაციის მიზანი. ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის დამახასიათებელი რაოდენობრივი ისეთი კრიტერიუმების შემუშავება, რომლებიც გაითვალისწინებს ცვეთის ინტენსივობის დამოკიდებულებას ჰიდროტურბინის მ.კ.კ-ს ცვლილებასთან და აქედან გამომდინარე შესაძლებელს გახდის ჰიდროაგრეგატის რემონტშიორისი ოპტიმალური ვადის დადგენას.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. ნაშრომის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ჰიდროელექტროსადგურებზე დამონტაჟებული ჰიდროტურბინების მუშა თვლები და მიმმართველი აპარატის ნიჩბები, რომლებიც ყველაზე მეტად არის დაქვემდებარებული ჰიდროაბრაზიულ ცვეთას. პრობლემის შესწავლის მიზნით გამოყენებულია პრაქტიკაში კარგად აპრობირებული თეორიული და ნატურული კვლევის მეთოდები.

სამეცნიერო სიახლე. სამეცნიერო სიახლეს განსაზღვრავს, თეორიულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით შემუშავებული ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის ელემენტების აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი შეფასების კრიტერიუმები, რომლებიც ითვალისწინებს ნატანის ნაწილაკის გადატანით სიჩქარეს, მის მასას, აბრაზიულ თვისებებს, აგრეთვე, ჰიდროტურბინის დეტალის ზედაპირის ცვეთამდეგობასა და ნატანისა და გამდინარე ნაწილის ურთიერთქმედების ვადას.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები. დისერტაციაში შესწავლილი იქნა ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესის მახასიათებელი ფაქტორები, რომლის საფუძველზეც მიახლოებით თეორიულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით, შემუშავდა აბრაზიული ცვეთის ძირითადი კანონზომიერებანი. მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით განისაზღვრა მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენისის

ჰორიზონტალური ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთა. დადგენილ იქნა, რომ მუშა თვალმა განიცადა უმნიშვნელო, ხოლო წინა და უკანა ხუფებმა და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებმა - ძალიან მნიშვნელოვანი აბრაზიული ცვეთა. ასევე შესრულდა მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენსისის ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი შეფასება. მიმმართველი აპარატისათვის განხორციელდა რემონტთაშორისი T პერიოდის (0,5 წელზე ნაკლები) რაოდენობრივი განსაზღვრა წყალში მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის, მათი ფორმის, სიმსხოს, სისაღის, ჰიდროტურბინაში გამდინარე წყლის ნაკადის სიჩქარის გათვალისწინებით, რაც შეესაბამება ჰიდროტურბინის რემონტში გაყვანის ფაქტობრივ ვადას.

პრაქტიკული ღირებულება. ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება განპირობებულია სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი მეთოდის გამოყენებით, მყარი ნატანის ნაწილაკების ზემოქმედებით რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის ზედა და ქვედა ხუფებისა და მიმმართველი აპარატის ნიჩბების ცვეთის რაოდენობრივი შეფასებისათვის და, ამის საფუძველზე, მიმმართველი აპარატის ნიჩბების რემონტთაშორისი პერიოდის პროგნოზით, რაც დაემთხვა ფაქტობრივ სიდიდეს.

ნაშრომის აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი შინაარსი მოხსენებული იყო 2013 წელს, ქ. ქუთაისში, აკაკი წერეთლის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტში USAID-ის მეორე საერთაშორისო კონფერენციაზე.

პუბლიკაციები. დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომში, რომელთა ჩამონათვალი მოცემულია ავტორეფერატის ბოლოს.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. დისერტაციის სრული მოცულობა შეადგენს 105 ნაბეჭდ გვერდს. დისერტაცია შედგება რეზიუმეს (ორ ენაზე), შესავლის, 5 თავის, დასკვნებისა და 23 გამოყენებული ლიტერატურისაგან, ასევე 3 ცხრილის, 7 ნახაზისა და 7 სურათისაგან.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობა. მითითებულია, რომ საქართველოს ენერგოსისტემის განვითარებისათვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროენერგეტიკული რესურსების გამოყენებას. წარმოჩენილია საქართველოს ჰიდროელექტროსადგურებზე არსებული ერთ-ერთი ძირითადი პრობლემა: ჰიდროტურბინების მუშა თვლებისა და მიმმართველი აპარატის ნიჩბების ჰიდროაბრაზიული ცვეთა, რის გამოც მცირდება მათი მ.ქ.კ., რაც პირდაპირ კავშირშია ჰიდროაგრეგატების ენერგეტიკული მახასიათებლების გაუარესებასთან და მუშაობის ეფექტურობის შემცირებასთან. ყოველივე აღნიშნული ადასტურებს სადისერტაციო თემის აქტუალობას. აქედან გამომდინარე დასახულია კვლევის მიზანი: ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის დამახასიათებელი რაოდენობრივი ისეთი კრიტერიუმების შემუშავება, რომელებიც გაითვალისწინებს ცვეთის ინტენსივობის დამოკიდებულებას ჰიდროტურბინის მ.ქ.კ-ს ცვლილებასთან და აქედან გამომდინარე შესაძლებელს გახდის ჰიდროაგრეგატის რემონტოშორისი ოპტიმალური ვადის დადგენას.

პირველი თავში მოცემულია ჰიდროაგრეგატების ცვეთისადმი მიძღვნილი ლიტერატურის ანალიზი. ერთ-ერთ პირველ ნაშრომში, რომლებიც ეძღვნება ჰიდროტურბინის ცვეთას, ჯერ კიდევ მე-20 საუკუნის ორმოციანი წლების დასაწყისში გამოქვეყნდა მ. ბარკჯოვსკის და გ. თხინვალელის მიერ.

კავკასიის რეგიონში ახალი ჰიდროელექტროსადგურების (ზაჰესი, რიონჰესი, ძორაჰესი, გიზელდონჰესი და სხვა.) ექსპლუატაციაში შესვლამ კიდევ უფრო აქტუალური გახდა ჰიდროტურბინების აბრაზიული და კავიტაციური ცვეთის საკითხების შესწავლა, ვინაიდან აღნიშნულ ჰესებზე

მათი ექსპლუატაციის საწყისს პერიოდშივე იჩინა თავი ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის მნიშვნელოვანმა ცვეთამ.

რიონჰესისა და ლენინაკანის ჰესის ექსპლუატაციის მონაცემებზე დაყრდნობითა და მათი ანალიზის შედეგად განხორციელდა პირველი მცდელობა ჰიდროტურბინების ცვეთის ნაწილობრივად შემამცირებელი ღონისძიებების შემსუბუქების მიზნით მათი რეგულარული რემონტის წარმოების საშუალებით.

ამას მოჰყვა კ.აბიანის შრომები. შემდეგ გამოქვეყნდა ვ.დულნევისა და ნ.ცაბაძის შრომები ანალოგიურ საკითხზე.

ყველა ზემოთ აღნიშნული სამუშაო, ძირითადად, ეძღვნება სხვადასხვა პირობებში მომუშავე ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთის დაკვირვებათა შედეგების სისტემატიზაციას, ანალიზსა და ექსპლუატაციის გამოცდილების განზოგადებას, გეგმიური პროფილაქტიკური რემონტების ჩატარების ვადების დაგეგმვის მიზნით. ამ ნაშრომებში მოყვანილია საინტერესო ცნობები ჰიდრომალოვანი მოწყობილობების ცვეთის გეომეტრიული ზომების შესახებ (იშვიათად არის მონაცემები მ.ქ.კ-ის კლების თაობაზე ცვეთის არეალის გაფართოვებასთან დაკავშირებით). ამასთან, მოყვანილია რიგი ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის ცვეთის ისეთი კატასტროფული ზომები ექსპლუატაციის ერთი წლის განმავლობაში, რამაც მთლიანად გამოუსადეგარი გახადა ჰიდროტურბინის მუშა თვალი შემდგომი გამოყენებისათვის.

რაც შეეხება ცვეთის პროცესის გაფართოვების საწინააღმდეგო ღონისძიებებს, ისინი ეფუძვნება, ძირითადად, რეკომენდაციას ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალების მასალის სიმტკიცის გაზრდის შესახებ, რაც ბუნებრივია გაზრდის ჰიდრომანქანის ნორმალური მუშაობის პერიოდს. მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ აბარაზიულ ცვეთას არც თუ იშვიათად თან სდევს ჰიდროტურბინის

გამდინარე ნაწილის დეტალების კავიტაციური ცვეთა, მაშინ ძნელი სავარაუდოა ისეთი ფოლადის შერჩევა, რომელიც ერთდროულად თანაბრად შეეწინააღმდეგება აბრაზიულ და კავიტაციურ ზემოქმედებას. თუ საკითხის მიმართ იქნება დიფერენცირებული მიდგომა მაშინ შესაძლებელია მაღალხარისხოვანი, ძვირადღირებული ფოლადის გამოყენება, ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების წარმოებისათვის ცვეთის ცალკეული სახეობისა და პირობების გათვალისწინებით მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ავტორის მიერ არ ექცევა სათანადო ყურადღება ჰესებზე გამომუშავების შემცირებას ჰესზე ტურბინის გამდინარე ნაწილის ცვეთის გამო. როგორც წესი, ავტორებს არ მოჰყავთ რაოდენობრივი მახასიათებლები: კერძოდ, არ არის მონაცემები ჰესის მიერ ენერგიის დანაკარგის შესახებ ჰიდროაგრეგატის მ.ქ.კ-ს შემცირების ხარჯზე დროის გარკვეული პერიოდისათვის, მაშინ როცა სწორედ ეს დანაკარგები უშუალოდ ახდენს ზეგავლენას ცალკეული ჰესის მიერ წარმოებული და ენერგოსისტემაში მიწოდებული ელექტროენერგიის თვითღირებულებაზე.

შეიძლება დავასკვნათ, რომ ჰესების ჰიდროტურბინების კავიტაციური ცვეთის მიზეზით მათი მ.ქ.კ-ს შემცირება იწვევს ჰესის ფაქტობრივი გამომუშავების მნიშვნელოვნად შემცირებას. ამასთან კავიტაციური ზემოქმედების პროგნოზირება ნაწილობრივ შესაძლებელია ჰიდროტურბინების მოდელების კავიტაციურ სტენდზე გამოცდის შედეგად მიღებული მონაცემების ნატურაზე გადათვლით. რაც შეეხება ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიულ ცვეთას, მისი ინტენსივობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე და აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი მახასიათებლების პროგნოზირებისათვის აუცილებელია მოქმედი ჰესების ტურბინებზე სისტემატიური კონტროლი და ჰიდროაგრეგატების პერიოდული რემონტის ჩატარება რაციონალურ ვადებში,

რაც ინდივიდუალური იქნება კონკრეტულ პირობებში მომუშავე ჰიდროტურბინებისათვის.

მეორე თავში გამოკვეთილია ის ძირითადი ფაქტორები, რაც იწვევს ჰიდრომანქანების დეტალების ინტენსიურ აბრაზიულ ცვეთას. ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ზედაპირისა და ფორმის ტრანსფორმაცია-სახეცვლილება რღვევის მოვლენის შემდგომი ზრდის მიზეზი ხდება, ეს მოვლენები ხშირად მძიმდება იმის გამო, რომ ჰესის პერსონალი ცდილობს რა სიმძლავრის შემცირების კომპენსირებას მიმმართველი აპარატის უფრო მეტად გაღებით ანუ წყლის ხარჯის ფორსირებით, ეს კი თავის მხრივ, იწვევს ნაკადის სიჩქარის გაზრდას ტურბინის ცალკეულ ადგილებში და უფრო ინტენსიურს ხდის ცვეთის პროცესს ვინაიდან, ამ დროს შესაძლებელია კავიტაციური მოვლენის განვითარების შესაძლებლობის მკვეთრად გაზრდა. ამგვარად, ერთხელ დაწყებული მუშა ორგანოების დაზიანება, სულ უფრო პროგრესირდება და საბოლოოდ მოწყობილობა გამოდის მწყობრიდან. ზოგ შემთხვევაში ასეთი პროცესი ათწლეულების განმავლობაში გრძელდება და დეტალები მდორედ ცვდებიან და თანდათან კარგავენ მუშაობის უნარს. არის შემთხვევები, როდესაც ჰიდროტურბინები მუშაობენ ათეული წლის განმავლობაში, ხოლო მათი დეტალები “დამუშავებულია” ისეთ მდგომარეობამდე, რომ მათი მოხსნის შემდეგ ისინი, თითქმის დაშლის (რღვევის) პირასაა მისული. მაგრამ, ვხვდებით საწინააღმდეგო ფაქტორსაც: როდესაც ცალკეული დეტალები ან მთლიანად ტურბინის გამდინარე ნაწილი გამოდის მწყობრიდან რამოდენიმე წლის ან რამოდენიმე თვის ექსპლუატაციის შემდეგ, ხოლო სერიოზული დაზიანებები აღმოაჩნდებათ, რამოდენიმე კვირის ან თუნდაც დღის მუშაობის შედეგად.

ჰესის მუშაობის ფიზიკური რეჟიმი აჩქარებს მოწყობილობის კვანძების მაგ: საქუსლეებისა, სატურბინო საკისრების, მუშა თვლის ფრთების, მიმმართველი აპარატის ნიჩბებისა და სხვათა ცვეთას. ამიტომ, მნიშვნელოვანი

მოთხოვნა რომელიც წაყენება ჰესების ჰიდროენერგეტიკულ მოწყობილობას არის მისი საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფა. საექსპლუატაციო რეჟიმების ცვლილების დიდი რიცხვის დროს ეს მოთხოვნა უნდა იქნეს უზრუნველყოფილი პროექტირების, წარმოებისა და ექსპლუატაციის პროცესში, მისი იმ კვანძების კონტროლის გაძლიერებით, რომელიც ექვემდებარება ცვეთას. დროულად უნდა შესრულდეს პროფილაქტიკური და აღდგენითი სამუშაოები, აგრეთვე მაქსიმალურად იქნეს გამოყენებული ხელსაყრელი საექსპლუატაციო რეჟიმები.

დაჩქარებულ ცვეთას და რღვევას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როცა: ჰიდროენერგეტიკული დანადგარი მაღალ დაწნევაზე მუშაობს; მოწყობილობა მუშაობს აშკარად გამოკვეთილ და ინტენსიურ კავიტაციის პირობებში; ჰიდროტურბინაში გამავალი წყლის ნაკადი შეიცავს შეწონილ ნატანს. განსაკუთრებით საშიშია აღნიშნული ფაქტორების ერთობლივი მოქმედება.

მსხვილ ჰესებს, როგორც წესი, მნიშვნელოვანი მოცულობის სეზონური ან მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავები გააჩნიათ, რომელშიც პრაქტიკულად უზრუნველყოფილია მდინარის მიერ ტრანსპორტირებული შეწონილი ნატანის დალექვა. უფრო რთული მდგომარეობაა შედარებით მცირე სიმძლავრის ჰესებზე, რომლებსაც იშვიათად გააჩნიათ დიდი მოცულობის წყალსაცავები, ნატანის დასაღვებად. იგივე შეიძლება ითქვას ჰესებზე რომლებიც განლაგებული არიან მდინარის სამთო და მთისწინა უბნებზე, სადაც მდინარეებს მოაქვთ ნატანის დიდი რაოდენობა, სწორედ ასეთ ჰესებს მიეკუთვნება საქართველოს ჰესების უმრავლესობა.

რასაკვირველია, ჰიდროტექნიკური მშენებლობის თანამედროვე დონე საშუალებას იძლევა ისეთი ნაგებობების განხორციელებისა, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია წყლის ნაკადში არსებული შეწონილი ნატანის გამოყოფა, მაგრამ აღნიშნულ მძიმე პირობებში აგებული ნაგებობები ძალიან ძვირდღირებული იქნება და მათზე არ შეიძლება ორიენტაციის აღება.

ამგვარად, არსებობს წყალდენები, რომლებშიც მიუხედავად ჰესის დადგმული სიმძლავრის სიდიდისა, წყლის გაწმენდა შეწონილი ნატანისაგან მნიშვნელოვან სირთულეს წარმოადგენს, ან ზოგ შემთხვევაში ფაქტიურად შეუძლებელია. ასეთ წყალდენებს მიეკუთვნება ჩრდილოეთ კავკასიის და ამიერკავკასიის, მათ შორის საქართველოს,, შუა აზიის მთელი რიგი რეგიონების და სხვა მდინარეები.

ცვეთას ექვემდებარება ჰიდროტურბინის შემდეგი დეტალები:

დეტალების პირველ ჯგუფს, რომელიც ცვეთას ექვემდებარება მიეკუთვნება რეაქტიული ჰიდროტურბინის მუშა თვლები. მათ ცვეთას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაშიც, როცა წყალი შეიცავს ნატანს და მაშინაც, როცა ის არ შეიცავს ნატანს.

ინტენსიურ ცვეთას დაქვემდებარებული დეტალების მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება რეაქტიული ტურბინის მიმმართველი აპარატის ელემენტები. ზოგ შემთხვევაში მიმმართველი აპარატის ნიჩბების და მასთან მომიჯნავე დეტალების საერთო ცვეთა აჭარბებს მუშა თვლის ცვეთის დონეს.

ცვეთას დაქვემდებარებული დეტალების მესამე ჯგუფს მიეკუთვნება დეტალები, რომლებიც ზღუდავს ფრენისის ტურბინის მუშა თვლის ზედა და ქვედა უბნებს. ამ უბნებში წყლის არსებობა, რომელიც ბრუნვით მოძრაობას ასრულებას, განაპირობებს ზოგ შემთხვევაში, როგორც უძრავი ნაწილების ასევე სხვა მოძრავი ნაწილების ცვეთას.

ასეთი ცვეთა შედეგია, იმისა, რომ სითხის ბრუნვის სიჩქარე, როგორც წესი მუშა თვლის და მასთან მიერთებული დეტალების ბრუნვის სიჩქარეზე ნაკლებია, რაც განაპირობებს ფარდობითი სიჩქარის არსებობას. ცვეთა იზრდება უფრო ხშირად პერიფერიებისკენ სიჩქარის გაზრდის გამო და მყარი ნაწილაკების ცენტრისკენული სეპარაციის გამო.

მეოთხე ჯგუფს მიეკუთვნება ტურბინის ლილვის საკისრები და მისი შემამჭიდროველები დეტალები. ამ უკანასკნელში მყარი ნაწილაკების

მოხვედრა განაპირობებს მისი ელემენტებისა და ლილვის ზედაპირის სწრაფ აბრაზიულ ცვეთას, შემჭიდროების მწყობრიდან გამოსვლას (დაზიანებას) მოსდევს მყარი ნაწილაკების მოხვედრა საკისარში რაც დაუშვებელია. თუკი წყლით შეზეთვას აქვს ადგილი, მაშინ მყარი ნაწილაკები საკისარში, ამ პროცესის დროსაც შეიძლება მოხვდეს.

ცალკეულ შემთხვევებში აღმოჩენილია ცვეთის ნიშნები როგორც სპირალური კამერის ასევე სტატორის კოლონის ზედაპირებზე. განსაკუთრებით შესამჩნევია ცვეთა რუხი თუჯით დამზადებულ დეტალებზე. (როგორც ჩანს ეს მასალა არ უნდა იქნეს გამოყენებული საპასუხისმგებლო დეტალებში მაღალი ცვეთამედეგობის მოთხოვნის პირობებში).

მესამე თავში განხილულია ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობის შეფასების საკითხი. ნატანის ზემოქმედების შედეგად ახალი ან კაპიტალური რემონტიდან გამოსული ტურბინების მდგომარეობა სწრაფად უარესდება, ეცემა მათი მ.ქ.კ. და ჰესებზე იზრდება სიმძლავრის და ელექტროენერგიის გამომუშავების დანაკარგები. ამიტომ ნატანით მდიდარ მდინარეებზე განლაგებული ჰესების პროექტირებისას, აუცილებელია შეფასდეს მდინარის ნატანის ცვეთუნარიანობა და ჰესების ტურბინებისათვის მისი საშიშროების ხარისხი. აღნიშნულ შეფასებასთან დაკავშირებით საჭიროა დადგინდეს ტურბინის ცვეთის ინტენსივობა, მისი კავშირი ნატანის რეჟიმთან და სხვა ფაქტორებთან, რომლებსაც აქვთ გავლენა ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების ცვეთაზე. ნატანის რეჟიმი ჰესებზე შეისწავლება წყლის ყოველდღიური სინჯების აღებით ჰიდროტურბინების შემწოვი მილის გამოსასვლელთან. შემდეგ უნდა მოხდეს სინჯების პირველადი დამუშავება (დალექვა, გამოორთქლვა და აწონვა), ჩატარდეს მყარი ნატანის ფრაქციებად დაყოფა და მათი დაწვრილებითი მინერალოგიური ანალიზი. ჰიდროტურბინის დეტალების ცვეთა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია ნაკადის სიჩქარე, ნატანის

კონცენტრაცია, ნატანით გაჯერებული ნაკადის ტურბინის გამდინარე ნაწილზე ზემოქმედების ხანგრძლივობა, ნატანის ნაწილაკების სისალე, ფორმა და ზომები; აგრეთვე მნიშვნელოვანია დეტალების მასალის ცვეთამედგობა. იმისათვის, რომ შეიქმნას ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის ხარისხის განსაზღვრის შესაძლებლობა, აუცილებელია დადგინდეს ცალკეული, ზემოაღნიშნული ფაქტორის გავლენა დეტალების ცვეთაზე. ზოგიერთი მათგანის გავლენის ხასიათი შეიძლება გაირკვეს თეორიული მოსაზრებების საფუძველზე, ხოლო ზოგიერთი - მხოლოდ ექსპერიმენტული და ნატურული გზებით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ განმსაზღვრელ ზემოქმედებას ტურბინის დეტალების ცვეთაზე ახდენს, როგორ ზემოთ აღინიშნა, არა მხოლოდ ნატანის აბრაზიული თვისებები, არამედ ამ დეტალების მასალების ცვეთამედგობაც, რის გამოც ნებისმიერი ჰიდრონარევის ცვეთისუნარიანობა, უნდა დაკავშირდეს მის მიერ ზემოქმედების ქვეშ მყოფ მასალასთან. მიახლოებით თეორიულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით, შესწავლილია აბრაზიული ცვეთის ძირითადი კანონზომიერებანი. ამასთან მიიღება, რომ აბრაზიული ცვეთის დროს ხდება დეტალის მასალის რღვევა (ძირითადად ჭრა და გამოფხვნა), რომელზეც იხარჯება ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ნატანის ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია, განიხილება ბრტყელი ამოცანა შემდეგი დაშვებებით :

1. ცვეთას დაქვემდებარებული დეტალი წარმოადგენს ბრტყელ უძრავ ფირფიტას და მისი გარსდენა ხდება ტურბულენტური ნაკადით (შეტევის ნულოვანი კუთხით), სასაზღვრო შრის მოწყვეტის გარეშე.

2. ნაკადის რეჟიმი დამყარებულია და ადგილი აქვს თანაბარ პარალელურ-ჭავლურ მოძრაობას.

3. ნატანის ყველა ნაწილაკი ერთგვაროვანია, იმყოფება ნაკადში შეწონილ მდგომარეობაში და თანაბრად არის განაწილებული ნაკადის კვეთში.

4. ნაკადის ნატანით გაჯერება შედარებით მცირეა, ისე რომ იგი არ ცვლის ნაკადის ხასიათს და თვისებებს.

აღნიშნულ პირობებში ფირფიტა განიცდის თანაბარ ცვეთას, რომლის ფარდობითი სიდიდე არ იქნება დამოკიდებული ფირფიტის სიგრძეზე და სიგანეზე და ძირითადად განპირობებული იქნება ჰიდრონარევის მოძრაობის რეჟიმით.

ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ნატანის თითოეულ ნაწილაკს გააჩნია კინეტიკური ენერგია, რომელიც ტოლია $E = \frac{m\varpi^2}{2}$, სადაც m არის ნაწილაკის მასა, ხოლო ϖ - ნაწილაკების საშუალო გადატანითი სიჩქარე. ნაკადის შიგნით, ტურბულენტური შერევის გამო, ნაწილაკები ეხებიან ფირფიტას, ეჯახებიან და არღვევენ მას. ამ დროს, დროის ერთეულში ფირფიტის ფარდობითი ცვეთა ρ' ერთეულოვანი ნაწილაკიდან, ლოგიკურად პროპორციულია ნაწილაკის E კინეტიკური ენერგიის:

$$\rho' = k_1 \frac{m\varpi^2}{2} \quad (1)$$

სადაც k_1 არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნაწილაკის აბრაზიულ თვისებებზე და ფირფიტის მასალის ცვეთამედეგობაზე.

რადგან დროის ერთეულში ფირფიტაზე გამცვეთ ზემოქმედებას აწარმოებს n ნაწილაკი, ამიტომ ფირფიტის ცვეთა ტოლია:

$$\rho_n = n\rho' = k_1 \frac{m\varpi^2}{2} n. \quad (2)$$

შეიძლება ჩაითვალოს, რომ

$$n = k_F C_k \nu \quad (3)$$

სადაც C არის ნაკადში ნაწილაკების კონცენტრაცია, ν - ნაკადის საშუალო სიჩქარე, k_F - კოეფიციენტი რომელიც ძირითადად დამოკიდებულია ნაკადით ფირფიტის გარსდენის პირობებზე.

t დროში, ფირფიტას შეეხება N ნაწილაკი, თანაც დამყარებული რეჟიმის პირობებში გვექნება, რომ $N = nt = k_F C_k \nu t$.

ამგვარად ფირფიტის ცვეთა t დროის განმავლობაში ტოლი იქნება:

$$\rho = \rho' k_1 k_F = \frac{m \overline{\omega}^2 C_k v t}{2} . \quad (4)$$

დადგენილია, რომ შეწონილი ნაწილაკების გადატანითი სიჩქარე $\overline{\omega}$, პროპორციულია ნაკადის v საშუალო სიჩქარის: $\overline{\omega} = k_{III} v$, სადაც k_{III} არის, როგორც წესი, ერთთან ახლოს მყოფი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნაკადის მიერ ნაწილაკების ტრანსპორტირების პირობებზე (ნაკადის ჰორიზონტალური, დახრილი ან ვერტიკალური მოძრაობა).

ამიტომ განტოლება (4)-ის ნაცვლად გვექნება

$$\rho = k_1 k_F k_m^2 \frac{m C_k v^3 t}{2} \quad (5)$$

ან

$$\rho = k m C_k v^3 t \quad (6)$$

სადაც $k = 0,5 k_1 k_F k_{III}^2$ - არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნაწილაკების თვისებებზე (სისაღე, ზომა, ფორმა, კუთრი წონა), დეტალის მასალის ცვეთამედეგობაზე და ნაკადით ნატანის ტრანსპორტირების პირობებზე.

მე-(6) ფორმულიდან ჩანს, რომ ჰიდრონარევით გარმსდენი უძრავი დეტალის აბრაზიული ცვეთა პირდაპირპროპორციულია ნაკადში ნაწილაკების კონცენტრაციის, ნაკადის სიჩქარის კუბის, ჰიდრონარევის დეტალზე ზემოქმედების დროის და ერთი ნაწილაკის მასის.

ფირფიტის ჰიდრონარევით განსხვავებული გარსდენის პირობებში, როდესაც ფირფიტა ასრულებს წრფივ და თანაბარ მოძრაობას u სიჩქარით, მაშინ ფორმულა (6)-ში ნაკადის v სიჩქარის ნაცვლად უნდა ჩაისვას გარსდენის ფარდობითი სიჩქარე w , რომელიც ტოლია u და v სიჩქარეების გეომეტრიული ჯამისა.

თუ დეტალს გააჩნია მრუდწირული პროფილი, მის ნაკადით გარსდენას თან სდევს ნაკადის ჭავლების გამრუდება, რის გამოც ნაწილაკებზე იმოქმედებს ცენტრიდანული ძალები, რომლებიც გამოიწვევენ ნაწილაკების დეტალის ზედაპირზე მიკვრას ან მისგან მოცილებას. ამიტომ, ცენტრიდანული ძალების გავლენამ შესაძლებელია გამოიწვიოს დეტალის ზედაპირის როგორც რღვევის გაძლიერება (იქ სადაც ნაწილაკები მჭიდროდ ეკვრიან დეტალებს), ასევე შემცირება (იქ სადაც გვაქვს ზედაპირიდან მოცილება). ამ დროს დეტალის ცვეთის ზომებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მისი ზედაპირის ხაზოვანი ზომები და მრუდწირულობა, და აგრეთვე დეტალის ზედაპირთან ნატანის კონცენტრაციის ცვლილების ხარისხი, ცენტრიდანული ძალების გავლენის გამო.

გამოვიყენოთ ფორმულა (6) და შევადაროთ ერთმანეთს ერთი და იგივე მასალისაგან დამზადებული, სხვადასხვა რეჟიმში მომუშავე ორი ერთნაირი დეტალის ცვეთა, თუ მათზე ნატანის ზემოქმედება ერთნაირია (ამ დროს \mathbf{k} -ს და \mathbf{m} -ს ექნებათ ერთნაირი მნიშვნელობა). თითოეული აღნიშნული დეტალის ცვეთა ტოლი იქნება: $\rho_0 = kmC_{k0}\nu_0^3t_0$ და $\rho_1 = kmC_{k1}\nu_1^3t_1$.

ამგვარად

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{C_{k1}}{C_{k0}} \left(\frac{\nu_1}{\nu_0} \right)^3 \frac{t_1}{t_0} \quad (7)$$

ან

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{C_{k1}}{C_{k0}} \left(\frac{\nu_1}{\nu_0} \right)^3 \frac{t_1}{t_0} \quad (8)$$

ამ დამოკიდებულებიდან, რომელიც კარგად დასტურდება ექსპერიმენტებით, გამომდინარეობს, რომ თუ ექსპერიმენტით, რომელიც ჩატარდა გარკვეული C_{k0} , t_0 და ν_0 -ის შემთხვევაში, დაფიქსირდება დეტალის ცვეთის სიდიდე ρ_0 , მაშინ იგივე ან იდენტური დეტალის ცვეთა

იგივე ნატანის ზემოქმედების შედეგად C_{k1} , t_1 და ν_1 -ის შემთხვევაში, შეიძლება განისაზღვროს გაანგარიშებით.

საინტერესოა იმის გარკვევა, თუ როგორ გავლენას ახდენს დეტალის ცვეთაზე ის ფაქტორები, რომლებზეც დამოკიდებულია ერთი ნაწილაკის მასა. ამ ფაქტორებს მიეკუთვნება ნაწილაკის მოცულობა q და ნატანის კუთრი წონა γ_N . ამიტომ თუ გავითვალისწინებთ წყლის კუთრი წონის მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$m = q \frac{(\gamma_N - 1)}{g} \quad (9)$$

სადაც g არის სიმძიმის ძალის აჩქარება.

თუ მე-(6) ფორმულის მიხედვით შევადარებთ ერთმანეთს ერთნაირი დეტალების ცვეთის სიდიდეებს, სხვადასხვა ჰიდრონარევის ზემოქმედებისას და ამასთან ჩავთვლით, რომ C_k , ν და t ერთნაირია ორივე შემთხვევაში, მაშინ მივიღებთ:

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{k_1 q_1 (\gamma_{N1} - 1)}{k_0 q_0 (\gamma_{N0} - 1)} \quad (10)$$

ერთნაირი ფორმ ნაწილაკებისათვის:

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{k_1}{k_0} \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^3 \frac{(\gamma_{N1} - 1)}{(\gamma_{N0} - 1)} \quad (11)$$

ამ გამოსახულებაში შედის კოეფიციენტები k_0 და k_1 , რომლებიც დამოკიდებულნი არიან ნატანის თვისებებზე (სისაღე, სიმსხო, კუთრი წონა). აღნიშნულთან დაკავშირებით შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთისას იკვეთება შემდეგი ძირითადი კანონზომიერებანი:

1. ტურბინის დეტალის ცვეთა პირდაპირპროპორციულია ჰიდრონარევის დეტალზე ზემოქმედების დროის, ნარევი აბრაზიული ნაწილაკების კონცენტრაციის და ნარევის ფარდობითი სიჩქარის კუბის;

2. ტურბინის დეტალის ცვეთა იზრდება ნაწილაკების სიმსხოს, კუთრი წონის და სისალის გაზრდისას;

3. ტურბინის დეტალის ცვეთა დამოკიდებულია ნაწილაკის ფორმაზე, დეტალის ზომეზე და ფორმაზე და დეტალის მასალის ცვეთამდეგობაზე.

2 და 3 პუნქტებში აღნიშნული ფაქტორების გავლენა ტურბინის ცვეთაზე, შესაძლებელია დადგინდეს მხოლოდ სპეციალური ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგად, რასაც ყველაზე უფრო შეესაბამება გამოკვლევები ნატურაში, მოქმედი პესების ტურბინებზე. ამ დროს საქმე გვაქვს მდინარის ფაქტობრივ ნატანთან და რეალური პროფილების და ზომების მეორე ტურბინების დეტალებთან. ასეთი გამოკვლევებისას, შესაძლებელია კავიტაციური მოვლენების გავლენის შესწავლა.

მეოთხე თავი ეძღვნება ჰიდროტურბინების ექსპლუატაციის საკითხს აბრაზიული ცვეთის გათვალისწინებით და რემონტთაშორისი ოპტიმალური ვადების განსაზღვრას ფაქტობრივ მონაცემებზე დაყრდნობით.

ერთ-ერთი რთული პრობლემა, რომელიც თავს იჩენს ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის კვლევისას, არის ნაკადის საანგარიშო სიმღვრივის შერჩევა და იმ ზომის დადგენა თუ რა დოზით საჭიროებს მდინარის წყალი ნატანისაგან გაწმენდას. მიჩნეულია, რომ ტურბინისათვის სახიფათოა 0.25-0.4 მმ-ზე უფრო მსხვილი ნაწილაკები. როგორც ჰიდროტურბინების ექსპლუატაციის პრაქტიკა გვიჩვენებს აბრაზიული თვისებებით ხასიათდება უფრო წვრილი ფრაქციის ნაწილაკები. ამასთან ერთად მნიშვნელოვანია ნაწილაკების მინერალოგიური შენადგენლობის გათვალისწინებაც.

მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული მდინარის ნატანის დროში განაწილების უთანაბრობა. სამთო მდინარეებზე ნატანის 80- 90% მოდის გაზაფხულ-ზაფხულის წყალმოვარდნის პერიოდზე და სწორედ ამ დროს აქვს ადგილი ძირითადად ჰიდროტურბინის აბრაზიულ ცვეთას მ.ქ.კ-ს შემცირება თავს იჩენს ზაფხულის ბოლოს ან შემოდგომაზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს გარემოება ყველა ჰესზე როდია გათავლისწინებული მათი ექსპლუატაციას და ჰიდროტურბინების კაპიტალური რემონტები ტარდება ზამთრისა და გაზაფხულის პერიოდში და არა წყალმცირების დასაწყისში (შემოდგომაზე) უშუალოდ წყალმოვარდნის დაკლების დასრულების შემდეგ. ამის გამო აგრეგატები მრავალი თვის განმავლობაში ექსპლუატაციაშია დაბალი მ.ქ.კ-ით, რაც არის მიზეზი ელექტროენერგიის გამომუშავების დანაკარგისა. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდროტურბინის ცვეთის მიზეზია არა მხოლოდ ნატანის აბრაზიული ზემოქმედება, არამედ მასთან ერთად კავიტაციური ზემოქმედებაც. ამ ორი ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება მნიშვნელოვნად აჩქარებს ჰიდროტურბინების ცვეთას და აუცილებელს ხდის კაპიტალური რემონტების ხშირ ჩატარებას. ამიტომ სამთო ჰესებისათვის აუცილებელია მაღალკავიტაციური მახასიათებლების მქონე ტურბინების დამზადება.

იმისათვის, რომ შევიმუშაოთ ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის საწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებები, აუცილებელია, იმ ძირითადი ფიზიკური ფაქტორების გამოვლენა, რაზეც არის დამოკიდებული ჰიდრომანქანების გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობა და ზომები. ასეთ ფაქტორებად შეიძლება მიჩნეულ იქნას: ა) ცვეთას დაქვემდებარებული ნიმუშისა და მასზე მოქმედი ნატანის ნაწილაკების სისალე; ბ) ნატანით გაჯერებული წყლის ნიმუშზე მოქმედების ხანგრძლივობა და წყალში ნატანის კონცენტრაცია; გ) ნატანით გაჯერებული ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე ; დ) ნატანის მექანიკური მახასიათებლები (ნაწილაკების ფორმა და ზომები).

არსებობს კიდევ რიგი ფაქტორებისა, რაც, სავარაუდოდ, გავლენას ახდენს ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების დეტალების ცვეთაზე (მაგ. ნატანის ხვედრითი წონა, დეტალების ფორმა და ზომები, ცენტრიდანული ძალების მოქმედება ნატანის ნაწილაკებზე და სხვა).

ამ ფაქტორების ზემოქმედების შეფასებისათვის რაოდენობრივი მონაცემები ჯერ კიდევ პრაქტიკულად არ არსებობს.

აბრაზიული ცვეთის შესასწავლად ლაბორატორიულ პირობებში, როგორც წესი შეიძლება დადგენილ იქნას სხვადასხვა ფაქტორების ზემოქმედების მხოლოდ ზოგადი კანონზომიერება და შედარებითი მახასიათებლები, რომელიც გამოსახული იქნება ფარდობით სიდიდეებში. ჰიდროტურბინების ცვეთის მახასიათებლები, გამოსახული აბსოლუტურ სიდიდეებში, რომელიც ითვალისწინებს ექსპლუატაციის პროცესში ზემოქმედების ყველა რეალურ ფაქტორს შეიძლება მიღებულ იქნას მხოლოდ ნატურალური კვლევის შედეგად, რაც განხორციელდა ზაჰესზე, რიონჰესზე (საქართველო), კანაკერჰესზე, ძორაგეთჰესზე (სომხეთი), ორჯონიკიძის ჰესზე, ბაქსანის ჰესზე (რუსეთი). ამ პერიოდში სისტემატური დაკვირვების ქვეშ იყო ნატანის რეჟიმი და ტურბინების ცვეთა. ამ დაკვირვებით მიიღეს მასალები ჰიდროტურბინების მუშაობასა და მათი ცვეთის ზომების შესახებ. დაკვირვების მასალების დამუშავების შედეგად აგებულ იქნა დამოკიდებულება $P = f(H)$, სადაც P მყარი ნატანის საშუალო წლიური შემცველობაა. ხოლო H ტურბინის დაწნევა.

ცვეთას დაქვემდებარებული ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტის ზედაპირების რემონტი მდგომარეობს მათ მომზადებაში, დადუღებასა და გაწმენდაში.

მეხუთე თავში მოყვანილია, მაგალითის სახით შესწავლილი, მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენსისის ჰორიზონტალური

ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთის რაოდენობრივი შეფასება და მისი შედარება ფაქტობრივ მონაცემებთან..

ჩვენს მიერ ჩატარდა ჰიდროაბრაზიულ ზემოქმედებას დაქვემდებარებული რაჭა ჰესის ჰორიზონტალური ფრენისის ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის ელემენტების: მუშა თვლის, წინა და უკანა ხუფების და მიმმართველი აპარატის ნიჩბების გამოკვლევა. ჩინური წარმოების ჰიდროტურბინის ძირითადი მახასიათებლებია: ჰიდროტურბინის ტიპი - HLJ 90 – WJ – 100; სიმძლავრე - 5718 კვტ; დაწნევა - 280 მ; წყლის ხარჯი - 2,27 მ³/წმ; ბრუნთა რიცხვი - 1000 ბრ/წთ; მუშა თვლის შესასვლელი დიამეტრი - 1000 მმ; მუშა თვლის გამოსასვლელი დიამეტრი - 710 მმ. აღნიშნული ჰიდროტურბინა ექსპლუატაციაში იყო 2013 წლის აგვისტოდან 2014 წლის აგვისტოს პირველ მეოთხედამდე, როცა იგი გაყვანილი იქნა რემონტში. 2014 წლის ივნისის შუა რიცხვებში მდ. რიცეულას (რაჭა ჰესი მდ. რიცეულას წყალს გადაამუშავებს) ხეობაში განვითარებულმა მეწყერებმა მნიშვნელოვნად გაზარდა მისი სიმღვრივე (წყალში ნატანის კონცენტრაცია), რამაც განაპირობა ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების ინტენსიური ცვეთა.

რაჭა ჰესის სალექარიდან დერივაციაში გადასასვლელ კვეთში აღებული წყლის სინჯების შპს „გეოინჟინერინგის“ მასალების ტესტირების ლაბორატორიაში ჩატარებული ანალიზით დადგინდა, რომ სალექარიდან ჰესის სადაწნეო სისტემაში გაედინება წყალში არსებული მყარი ნაწილაკების 100%, ზომით 0,063 მმ, წყალში მათი კონცენტრაცია შეადგენს 0,788 გრ/ლ. მყარი ნატანის ანალიზის შედეგები და შესაბამისი სისაღეები მოოსის სკალის მიხედვით მოყვანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1.

ნატანის მინერალოგიური შედგენილობა	მინერალის %- ული რაოდენობა	მინერალის სისაღე მოოსის სკალის მიხედვით	მინერალის კონცენტრაცია, გრ/ლ
SiO_2 (კვარცი)	30	7 ერთეული	0,236
$Fe - Mg$ (ფერო- მაგნიუმისანი ფერიტები)	20	2,8 – 4,5 ერთეული საშუალო - 3,65 ერთეული	0,158
$Ca - Na$ (მინდვრის შპატი)	25	5 – 6,5 ერთეული საშუალო - 5,75 ერთეული	0,197
ქარსი	25	2 ერთეული	0,197

ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ მიუხედავად სალექარის შესაძლებლობისა დააკავოს 0,2-0,25 მმ და მეტი ზომის მყარი ნაწილაკები ნორმების შესაბამისად, იგი ვერ უზრუნველყოფს მაღალი სისაღის მქონე, აღნიშნულზე მცირე ზომის მინერალების ჰესის წყალსატარი ტრაქტიდან არინებას. ცნობილია, რომ ჰიდროტურბინების ინტენსიურ აბრაზიულ ცვეთას იწვევს 4 ერთეულზე (მოოსის სკალის მიხედვით) მეტი სისაღის მქონე ნაწილაკები, რომელთა საერთო რაოდენობა მყარ ნატანში 55%-ია.

რაჭა ჰესის ჰიდროაგრეგატების ელექტროენერგიის გამომუშავების ჟურნალის ჩანაწერების მიხედვით ივნისის მეორე ნახევრიდან (მეწყერების განვითარების დაწყებიდან) აგვისტოს პირველი მეოთხედის ჩათვლით ჰიდროტურბინამ იმუშავა 1248 სთ. იმის გათვალისწინებით, რომ ჰიდროტურბინის წყლის ხარჯი 2,27 მ³/წმ-ია, მივიღებთ მითითებულ პერიოდში მასში გასული 4 ერთეულზე (მოოსის სკალის მიხედვით) მეტი სისაღის მქონე ნაწილაკების რაოდენობას, რაც შეადგენს 4420 ტონას. ეს გარემოება აისახა ჰიდროაგრეგატის გამომუშავებაზე, რაც ელექტროენერგიის გამომუშავების ჟურნალის ჩანაწერების შესაბამისად 2013 წლის აგვისტოსთან შედარებით 2014 წლის შესაბამის პერიოდში 25%-ით შემცირდა.

ინსტრუმენტული აზომვისა და ნაპერწის საშუალებით განისაზღვრა გაცვეთილი ზონების ჯამური მოცულობა წინა (სურ.1.) და უკანა (სურ.2.) ხუფებზე და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე (სურ.3.), რის მიხედვითაც დადგინდა ლითონის წონითი დანაკარგი: წინა ხუფზე - 31,0 კგ, უკანა ხუფზე - 9,23 კგ, მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე - 3,99 კგ. ამრიგად, ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების წონითმა დანაკარგმა 44,22 კგ შეადგინა.

შპს „საქართველოს საერთაშორისო ენერგეტიკული კორპორაციის“ საკონსტრუქტორო ბიუროში ჩატარებული დეფექტოსკოპიური ანალიზით დადგინდა რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის მუშა თვლის მორგვის, ფერსოს, მუშა თვლის ფრთების, წინა ხუფის, უკანა ხუფის და მიმმართველი აპარატის ნიჩბების სისაღე ბრინელის (HB) მიხედვით. მიღებული იქნა შემდეგი შედეგები:

მუშა თვლის მორგვზე - 302 HB -დან 308 HB -მდე; მუშა თვლის ფერსოზე - 302 HB -დან 306 HB -მდე; მუშა თვლის ფრთებზე - 270 HB -დან 282 HB -მდე; წინა ხუფზე - მოუპირკეთებელ ნაწილზე 118-120 HB, მოპირკეთებულ ნაწილზე 191 HB; უკანა ხუფზე - მოუპირკეთებელ ნაწილზე 118-119 HB, მოპირკეთებულ ნაწილზე 193 HB; მიმმართველი აპარატის ნიჩბებზე - 143 HB -დან 208 HB -მდე. სისაღის დაბალი მნიშვნელობები ცალკეულ ნიჩბებზე აიხსნება მათი არანორმალურად მოწვით.

რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის ლაბირინთული რგოლები შესრულებულია 1X18Ni9T მარკის ფოლადით, წინა და უკანა ხუფები Q235B მარკის ფოლადით, ხოლო წინა და უკანა ხუფების მოპირკეთება და მუშა თვალი 06X13Ni4Mo მარკის ფოლადით. ამასთან, მუშა თვლის ფოლადი თერმულად არის დამუშავებული, რის გამოც მისი სისაღე მაღალია.

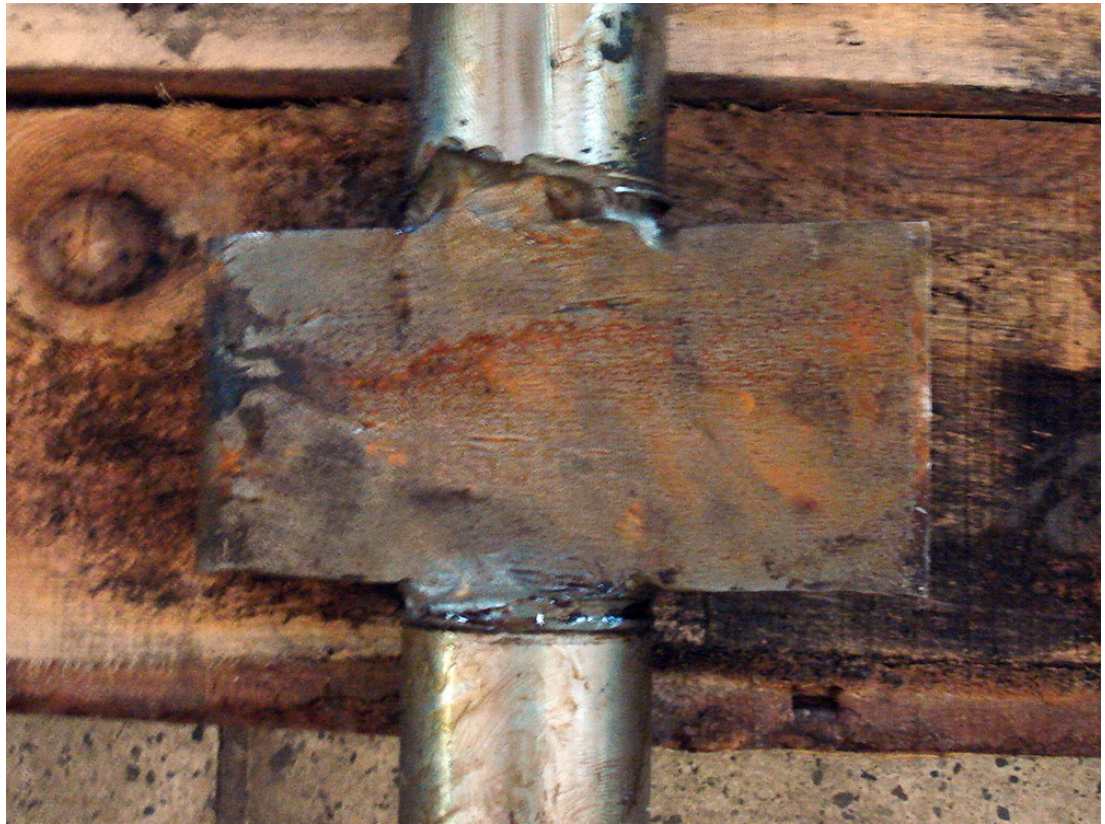
ჩვენს მიერ საცნობარო ლიტერატურაზე დაყრდნობით სისაღის მნიშვნელობები ბრინელის (HB) მიხედვით შეესაბამება სისაღეებს მოოსის



სურ. 1. რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის გაცვეთილი წინა ხუფი



სურ. 2. რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის გაცვეთილი უკანა ხუფი



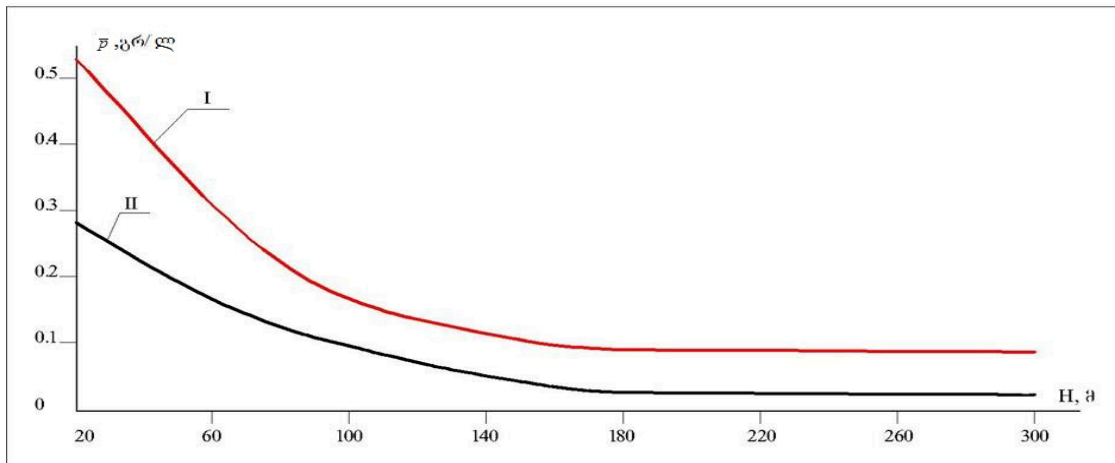
სურ.3. რაჭა ჰესის №2 ჰიდროტურბინის მიმმართველი აპარატის გაცვეთილი ნიჩაბი

მიხედვით შემდეგი თანაფარდობით: $120 \text{ HB} =$ სისალის 3 ერთეულს მოოსის მიხედვით, $140 \text{ HB} =$ სისალის 3,5 ერთეულს მოოსის მიხედვით, $275 \text{ HB} =$ სისალის 4,8 ერთეულს მოოსის მიხედვით, $308 \text{ HB} =$ სისალის 5 ერთეულს მოოსის მიხედვით.

ჩვენს მიერ მიღებული შედეგების დატანით ნატურული დაკვირვების მასალების დამუშავების შედეგად მიღებულ $P = f(H)$ (ნახ. 1.) გრაფიკზე ჩანს, რომ რაჭა ჰესის ჰიდროტურბინა მუშაობდა აბრაზიული ცვეთის თვალსაზრისით სახიფათო ზონაში, რაც დაადასტურა საექსპლუატაციო პრაქტიკამ.

საღეჭარის არსებობა ვერ გამორიცხავს მცირე ზომის მაღალი სისალის მქონე მყარი ნაწილაკების ჰიდროტურბინაში მოხვედრის შესაძლებლობას.

ამ შემთხვევაში ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული



ნახ.1. ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთისას მისი რემონტში გაყვანის ვადის განსაზღვრისათვის

ცვეთისაგან დაცვა უნდა განხორციელდეს ამ დეტალების ცვეთამდეგი მასალებისაგან დამზადების გზით, რაც ნაწილობრივ განხორციელდა რაჭა ჰესზე, რომლის ჰიდროტურბინის მუშა თვალი დამზადდა თერმულად დამუშავებული, მაღალი სისალის **06X13Ni4Mo** მარკის ფოლადით, რამაც განაპირობა მისი უმნიშვნელო ცვეთა ტურბინის წინა და უკანა ხუფებთან და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებთან შედარებით.

საზოგადოდ, უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდროაბრაზიული ცვეთა სხვადასხვა დოზით მყარი ჩამონადენით მდიდარ მდინარეებზე განლაგებული ჰესების ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალებისათვის ყველა შემთხვევაშია დამახასიათებელი. ცვეთის ხარისხი განისაზღვრება ერთი მხრივ დეტალზე მოქმედი გარე დატვირთვით, რაც დამოკიდებულია მისი მოქმედების ხანგრძლივობაზე, მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციაზე, მათ ზომეებზე, ფორმაზე, სისაღზე, ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე, ხოლო მეორე მხრივ საკუთრივ დეტალის ფორმით, ზომებით და მისი მასალის სისაღით.

დასკვნები

1. როგორც ჰიდროელექტროსადგურების ექსპლუატაციის მსოფლიო პრაქტიკამ აჩვენა ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილის დეტალები ინტენსიურ ცვეთას განიცდის ნატანის კავიტაციური და აბრაზიული ზემოქმედების გამო. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ნატანით მდიდარ მდინარეების სამთო და მთისწინა უბნებზე განლაგებული ჰესებისათვის, რომელთა უმრავლესობა მიეკუთვნება საქართველოს ენერგოსისტემის ჰიდროკვანძები.

2. ჰიდროტურბინის გამდინარე ტრაქტის დეტალების აბრაზიული ცვეთის ინტენსივობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის: ნატანის ნაწილაკების სიმაგრეზე, ფორმაზე, ზომეზე, კონცენტრაციაზე, ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე, ჰიდროტურბინის დაწნევაზე, ტურბინის ტიპზე, გამდინარე ტრაქტის ზედაპირების მასალის მექანიკურ მახასიათებლებზე, ნატანისა და ჰიდროტურბინის დეტალების კონტაქტის ხანგრძლივობაზე.

3. ტურბინის ცალკეული კვანძების და ნაწილების ცვეთის პროგნოზირებისათვის შემოთავაზებულია განზოგადოებული დამოკიდებულება ნატანის დაყვანილი კონცენტრაციის მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის, ტურბინის გამდინარე ნაწილში ნაკადის ფარდობითი სიჩქარის გათვალისწინებით.

4. π თეორემის გამოყენებით და ტურბინის ტიპის გათვალისწინებით საანგარიშოდ მიღებულია ფუნქციონალური დამოკიდებულება, რომელიც ამყარებს კავშირს ჰიდროტურბინის სიმძლავრის დროში კლებასა და მე-2 პუნქტში მოყვანილ ფაქტორებს შორის.

5. ჰიდროტურბინის დეტალების ცვეთის რაოდენობრივ კრიტერიუმად მიღებულია მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტის შემცირების საშუალო წლიური გრადიენტი. ეს სიდიდე საშუალებას იძლევა ცვეთის პროცესის მახასიათებლები დაუკავშირდეს ჰესის სიმძლავრესა და გამომუშავებას.

6. მე-4 პუნქტში აღნიშნული თეორიული დამოკიდებულებით ჩატარებულ გაანგარიშებებით დადგენილი მ.ქ.კ-ს კლება, გამოწვეული რიონჰესის ჰიდროტურბინისათვის მიღებულია 1,1%-ის ოდენობით. რიონჰესისათვის, ჩვენი შეფასებით, საშუალო წლიური დანაკარგები თითოეულ აგრეგატზე შეადგენს $2.5 \cdot 10^6$ კვტ.სთ. ე.ი. საშუალო წლიური ენერგოგამომუშავების 3.2 % -ს.

7. მოცემულია რეკომენდაციები ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილის დეტალების აბრაზიული ცვეთის უარყოფითი შედეგების შესუსტებისათვის, როგორც ცვეთამდევე მასალების გამოყენების, ასევე დაზიანებული ზედაპირების აუსტენიტური კლასის ელექტროდებით შესრულებული დადუღების გზით.

8. შესწავლილი იქნა მდ. რიცეულაზე მდებარე რაჭა ჰესის ფრენსისის ჰორიზონტალური ჰიდროტურბინის გამდინარე ნაწილების ცვეთა. დადგენილ იქნა, რომ მუშა თვალმა განიცადა უმნიშვნელო, ხოლო წინა და უკანა ხუფებმა და მიმმართველი აპარატის ნიჩბებმა - ძალიან მნიშვნელოვანი აბრაზიული ცვეთა.

9. ჩატარებული გამოკვლევები ცხადყოფს, რომ ექსპლუატაციაში მყოფ ჰიდროელექტროსადგურებზე ელექტროენერგიის გამომუშავების გაზრდის (საპროექტო სიდიდემდე მიყვანა) ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორია

ჰიდროაგრეგატების რემონტაშორისი ვადის სწორად განსაზღვრა, რაც უნდა განხორციელდეს ინდივიდუალურად, ყოველი კონკრეტული შემთხვევის შესაბამისი ჰიდროაბრაზიული ცვეთის პროცესის მაფორმირებელი ფაქტორების გათვალისწინებით.

პუბლიკაციები

1. ი. ლომიძე, გ. ხელიძე, ა. ქანთარია. „ჰიდროტურბინების აბრაზიული ცვეთის პროგნოზირების საკითხისათვის“ პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“. თბილისი, 2013.
2. ი. ლომიძე, გ. ხელიძე, ა. ქანთარია. „ჰიდროტურბინის აბრაზიული ცვეთის რაოდენობრივი შეფასება და ცვეთის საწინააღმდეგო ღონისძიებები რაჭა ჰესის მაგალითზე“ საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, თბილისი, 2014, № 3, გვ. 44-47.
3. ი. ლომიძე, გ. ხელიძე, ა. ქანთარია, ზ. ჩუბინიძე. „ჰიდროაბრაზიული ცვეთის გამოკვლევა ფრენისის ჰიდროტურბინებში“ სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“, თბილისი, 2014.

Abstact

The majority of hydroelectric power plants of the energy system of Georgia has been operated for more than three decades. The characteristics of the energy devices and equipment existing in many of them do not comply with their former standards. Because of the of the rotors of hydroturnibes or the oars of the guide apparatuses, its efficiency decreases, which is followed by the reduction of power and accordingly, the decrease of production, which is compensated by the increase of water consumption. The lack of control of the energy characteristics of the hydroblocks and

water consumption lead to low-quality usage of water resources, which causes losses in labour and capital investments. This is generally the reason of the rise of prices.

The importance of the study of abrasive wear of the flowing channel of the hydroturbine is also strengthened by the fact that the process of abrasive wear (the movement of liquid flow of alluvium particles and their influence on the surface of flowing channel), can become a factor provoking the development of cavitation effect, which in its turn, will make the parts wear more intensive and even can cause the decomposition of their material.

In this connection it will be necessary and important to work out quantitative criteria, characteristic of the intensity of abrasive wear, of the flowing channel of the hydroturbine, which envisages the relation of the intensity of wear with the change of the hydroturbine efficiency, and which as a result, will provide an opportunity for the determination of overhaul optimal period for the generating unit.

If we take it into consideration that absolute majority of HPPs is located on the mountain and mountain foot regions of rivers and the fact that the rivers in these regions are characterized by high turbidity (high content of alluvium in the river water), it becomes clear that the question of study of abrasive wear of the flowing channel of hydroturbines is in direct connection with the effective functioning of HPPs of the energy system of Georgia, which is very important for the country in the present situation.

When there is presence of hard alluvium in water, there is wear, caused by the collision of hard particles with the surface of flowing channel as well as a result of slipping of hard particles on the surface of flowing channel.

It is generally believed that apart from the speed volume, an impact on the abrasive intensity must be caused by: the thickness, hardness, form of the concentrate of suspended particles, as well as the quality of the material, out of which the elements of flowing highway of the hydroturbine are made. The quality of this surface

layer is especially important, which is in the direct contact with suspended particles.

During abrasive wear of hydroturbines the following regularities can be observed: 1. Wear of turbine details is directly proportional to the time of hydromixture's influence on the detail, the concentrate of abrasive particles in mixture and the relative speed of mixture cubed. 2. Wear of turbine detail increases in conjunction with the increase of particle thickness, specific weight and hardness of particles. 3. Wear of hydroturbine detail depends on the shape of particles, the size and shapes of a detail and wear resistance of material.

It is known that the power of generating unit in the processes of its work is in the interval: $0,5N_{max} < N \leq N_{max}$ in which there is maximum efficiency- η_{max} , which approximately corresponds with $0,75 N_{max}$. The representation of the work zone of generating unit in the form of analysis-function, while taking into consideration the time factor, that is the determination of efficiency change by the influence of abrasion is very necessary and important.

The solution of this problem envisages the determination of work characteristics $\eta=f(N)$ during various time T , fixed time interval ΔT and correspondingly the quantity of produced electric power $\Delta \Xi$. The search of information between measuring must be carried out by way of relevant standard observations and measuring at HPPs so as to include the annual T_0 cycle of the work of the generating unit.

Measuring of the power of the generating unit is possible by means of the electric power meter present at the HPP, on the condition that the readings will be taken simultaneously with taking other indications when there is fixed opening of turbine guide apparatus.

For practical realization of the theoretical attitudes given in this paper, abrasive wear of the flowing channel of Ratchahesi's (located on the River Ritseula) horizontal hydroturbines has been studied as an example. Based on the materials of

authors' visual inspection, instrumental measurement, laboratorial analysis of granulometric and mineralogical content of hard alluvium in water and metal hardness of the flowing channel of the hydroturbines, it has been found that the rotors of hydroturbines underwent inferior abrasive wear while the front and rear lids, as well as the oars of the guide apparatus suffered from intensive abrasive wear. The quantitative determination of T period in-between repairing works (less than 0,5 years) has been carried out for the guide apparatus on the basis of the concentrate of hard particles in water, their shape, thickness, hardness and the flow speed of passing water in the hydroturbine which corresponds to the the actual period of hydroturbine repair.

Quantitative estimation of Ratchahesi's Frensis hydroturbines abrasive wear has also been carried out. Under the conditions of hard alluvium high concentrate (0,78 g/l) and high content (more than 4 units according to Mohs scale) of mineral hardness (55%) in alluvium, the hydroturbine worked for 1248 hours. The instrumental measurement performed by the authors determined the total volume of worn areas on the front and back lids as well as the oars of the guide apparatus and based on this, metal weight loss has been determined: on the front lid- 31,0 kg, on the back lid- 9,23 kg, on the oars of the guide apparatus – 3,99 kg, in total 44,22 kg. Compared with the results of studies of a wide range of hydroelectric power stations' hydroturbines abrasive wear given in technical literature, it has been found that the hydroturbine of Ratchahesi worked in dangerous area in terms of abrasive wear (corresponding to the hydraulic head and hard alluvium concentrate), which actually required its repair in 0,5 years.